فرآیندهای ساختمانی

فرآیندهای ساختمانی

مجموعه فرآیندهایی که باعث تغییر شکل فیزیکی سنگها و ایجاد ساختهای مختلف در آنها میشوند فرآیندهای ساختمانی نام دارند که «ساختها یا ساختارها» متنوعی در پوسته زمین ایجاد میکنند.
تغییر شکل مواد در طبیعت به دو صورت عمده خمیری (الاستیک) و شکننده (پلاستیک) ایجاد میشود.

تکتونیک یا زمین ساخت

علمی که ساختهای حاصل از تغییر شکل سنگها را در رابطه با فرآیندهای ایجاد کننده آنها بررسی میکند تکتونیک یا زمین ساخت نام دارد.

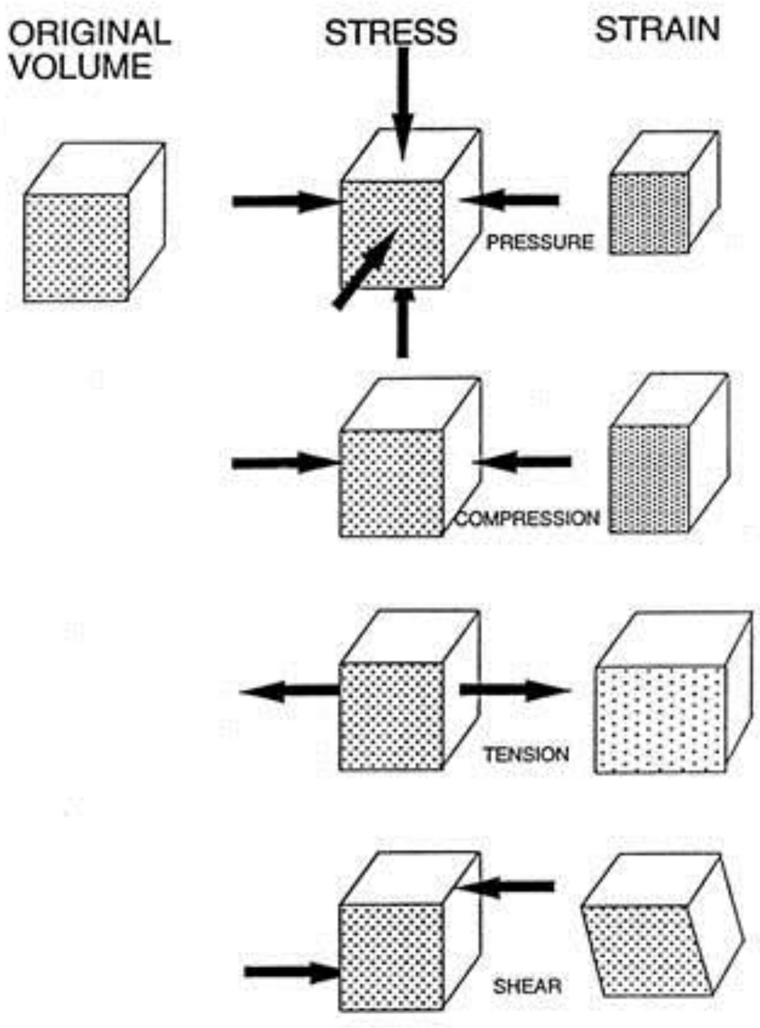
سه عامل مهم در فرآیندهای ساختمانی

فشار – دما – زمان

تنش

هرگاه جسمی تحت تاثیر نیرویی قرار گیرد، در مقاطع مختلف داخلی آن نیروهایی موسوم به نیروهای داخلی بوجود می آید که شدت آنها «تنش» (استرس) نام دارد.واحد تنش نیرو بر واحد سطح است.

تنش ها به سه صورت «فشاری» ، «کششی» ، «برشی» میباشند.

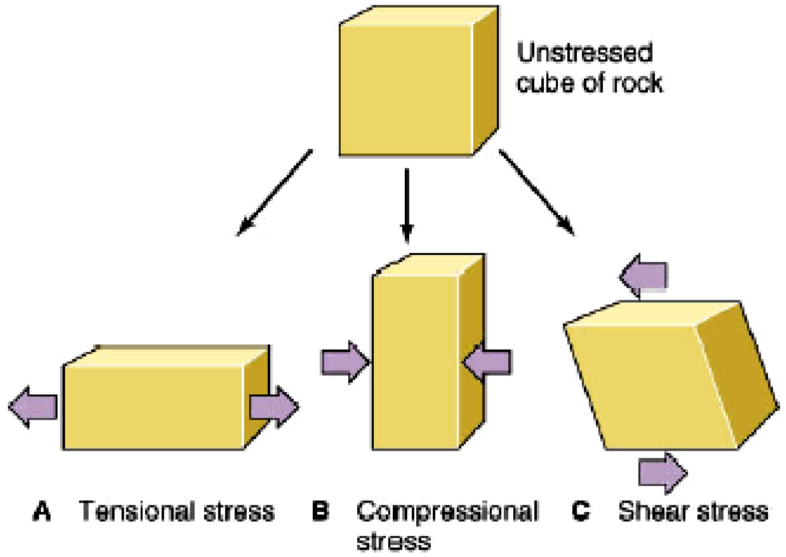


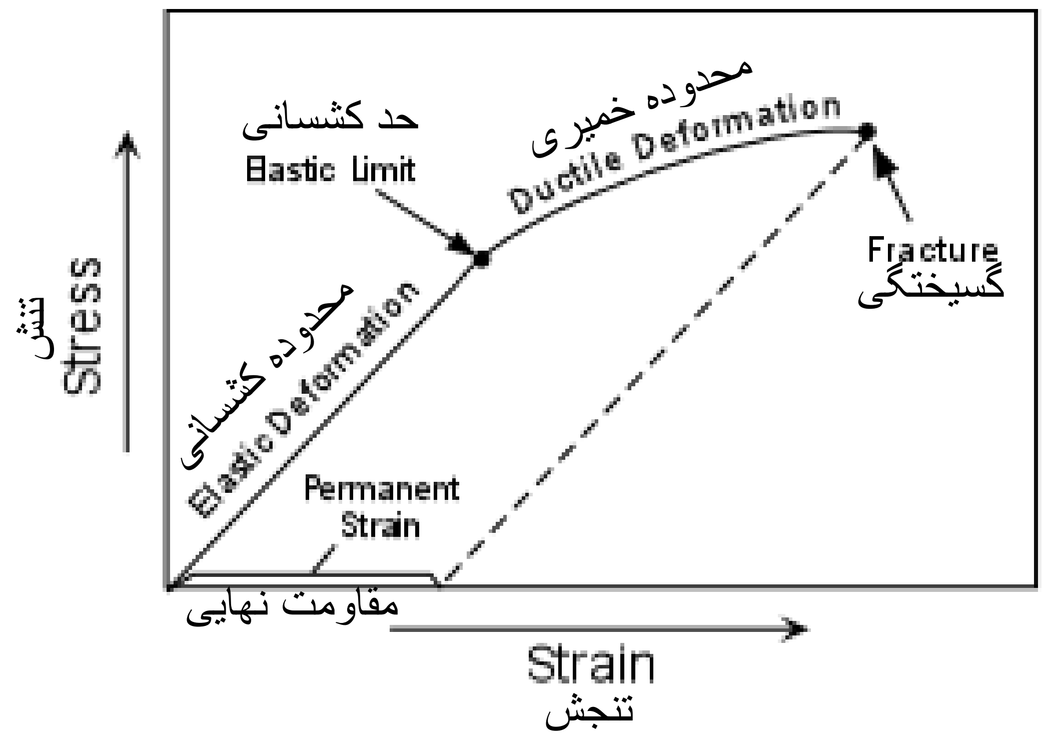
تنجش (استرین)

تغییر نسبی در ابعاد جسم را تغییر شکل نسبی یا «تنجش» (استرین) می نامند.بسته به نوع و مقدار تنش، تغییر شکلهای متفاوتی حاصل میشود.

ماده ای که پس از رفع تنش تغییر شکل دهنده به حالت اولیه بازگردد «کشسان» (الاستیک) و ماده ای که تغییر شکل برگشت ناپذیر دارد «خمیرسان» (پلاستیک) نام دارد.

وقتی نیرویی به جسمی‌وارد شود، جسم ابتدا حالت کشسان نشان می‌دهد. با افزایش نیرو به مرحله‌ای می‌رسیم که در آن، همه یا قسمتی از تغییر شکل جسم غیر قابل برگشت می‌شود (حد کشسانی). از این حد به بعد پس از رفع تنش جسم حالت خمیری نشان خواهد داد و کاملاً به حالت اولیه باز نخواهد گشت. با افزایش تنش مرحله‌ای می‌رسد که در آن، ماده تاب مقاومت ندارد و می‌شکند (شکل ۲۰-۲ و ۲۰-۳). بیشترین مقدار تنشی که سنگ قبل از شکستن تحمل می‌کند «مقاومت نهایی» آن نامیده می‌شود.

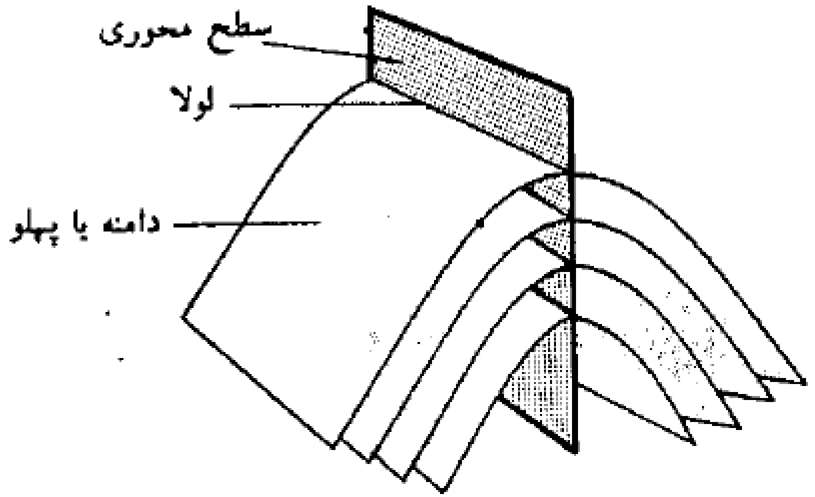




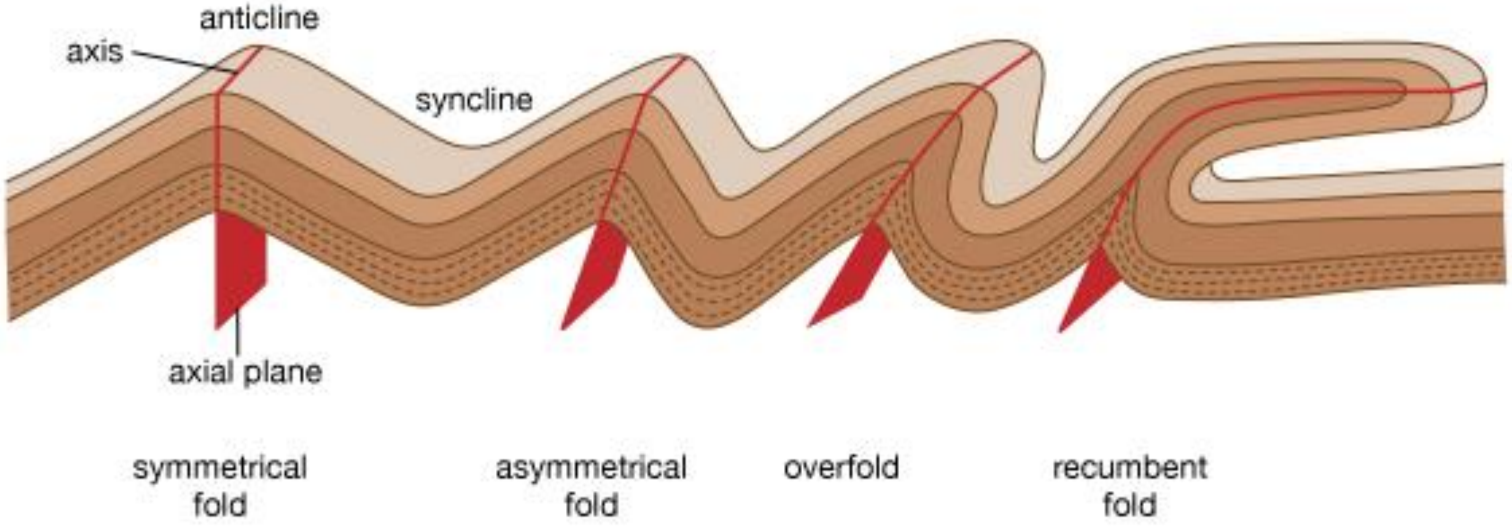
حد کشسانی
Elastic Limit
محدوده خمیری
Ductile Deformation
Fracture
گسیختگی
تنش
Stress
محدوده کشسانی
Elastic Deformation
Permanent
Strain
مقاومت نهایی
Strain
تنجش

چین ها

گفتیم در مواردی که سرعت تنجش کم باشد سنگها بر اثر فشارهای وارده به‌صورت مواد خمیری عمل می‌کنند و چین می‌خورند. چین خوردگی باعث ایجاد «تاقدیس» و «ناودیس» می‌شود. هر چین دارای دو «پهلو» یا دامنه است. «لولای» چین، خطی فرضی است که نقاط دارای حداکثر انحنای چین را به هم وصل می‌کند (شکل ۲۰-۲۶). امتداد لولای چین «محور» چین نیز خوانده می‌شود. در چینهای استوانه‌ای سطحی که از خطوط لولاهای یک چین می‌گذرد «سطح محوری» نام دارد (شکل ۲۰-۲۶). باید توجه داشت که سطح محوری همواره یک سطح تقارن نیست، از این رو همیشه چین را به دو بخش کاملاً مساوی و مشابه که تصویر آینه‌ای یکدیگر باشند تقسیم نمی‌کند. محل تقاطع سطح محوری با سطح زمین «اثر محوری» نامیده



چینها را می‌توان با توجه به جهتگیری محور، سطح محوری و شیب دامنه‌هایشان به گروههای مختلفی تقسیم کرد. چینی که فاصلهٔ سطح محوری از دو دامنهٔ آن به یک اندازه باشد «چین متقارن» نامیده می‌شود و در غیر این صورت نامتقارن است. چینها بر مبنای زاویهٔ شیب سطح محوری به انواع «قائم»، «مائل»، «برگشته»، «خوابیده» تقسیم می‌شوند



© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

چین ها را میتوان از روی شدت و مقدار خم شدگی دامنه هایشان به انواع «چین باز»، «چین بسته» و «چین هم شیب» طبقه بندی کرد.

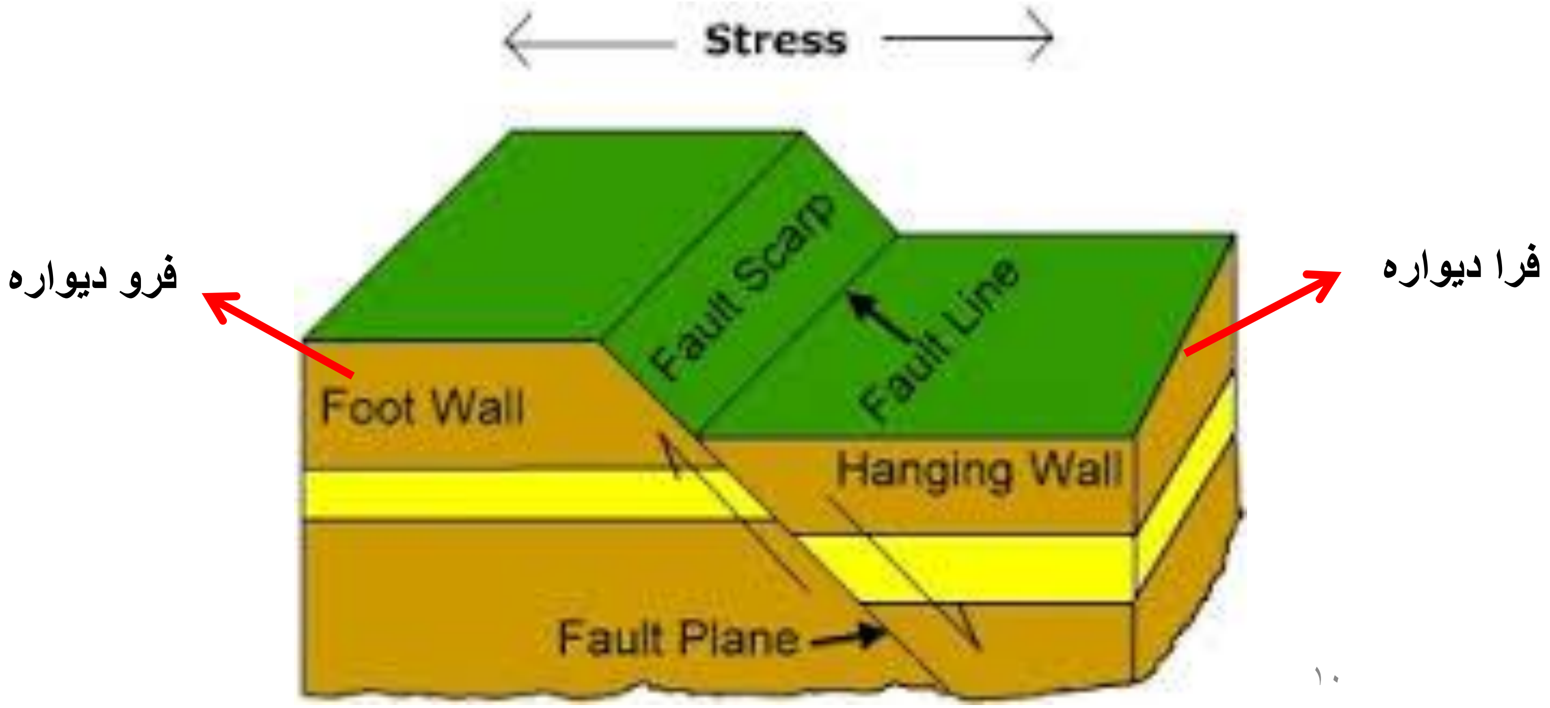
در چین هم شیب، دو پهلوی چین با هم موازی است.

شکل ۲۰-۳۲ تقسیم بندی چینها بر مبنای شکل و میزان خم شدگی دامنه‌یشان. چینهای متقارن،الف) باز، ب) بسته، ج) هم شیب و د) چین نامتقارن

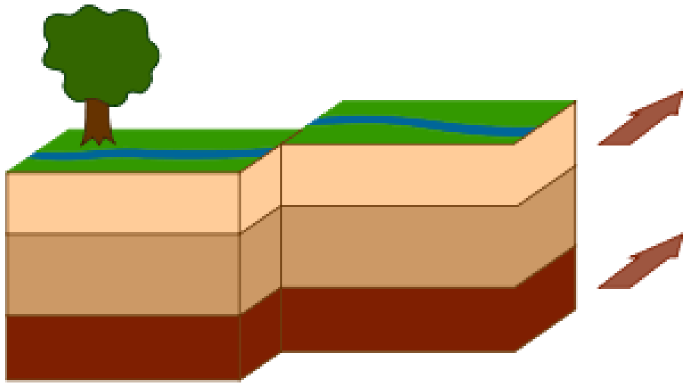
گسل ها

هر جا که نیروهای وارد شده بر سنگهای سازندهٔ پوستهٔ زمین بیش از تحمل آنها باشد می‌شکنند. همان گونه که بیشتر هم گفتیم در اعماق پوسته، به دلیل بالا بودن دما و فشارهای همه جانبهٔ زیاد، سنگهای جامد رفتاری خمیری از خود نشان می‌دهند و در شرایط مناسب چین می‌خورند. در مقابل، در نواحی نزدیک به سطح که سنگها سردترند حالتی ترد و شکننده دارند و درصورتی که تنشهای ایجاد شده در سنگ از مقاومت آن بیشتر شود، سنگ گسیخته می‌شود. شکستگیهای ایجاد شده در سنگها را در صورتی که همراه با جابه‌جایی باشند «گسل» و در غیر اینصورت «درز» می‌نامیم.

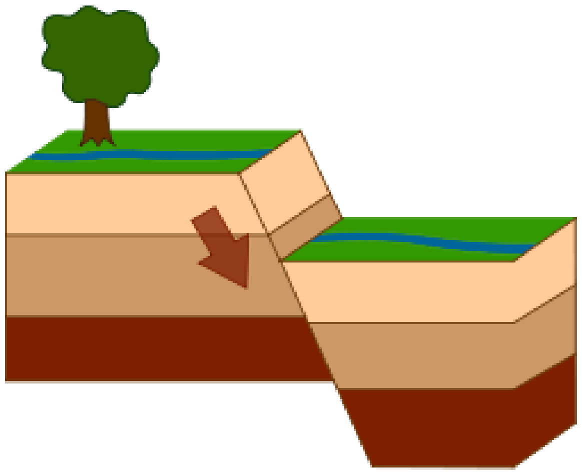
«سطح گسل» را، مانند سطح لایه، با شیب و امتداد آن مشخص می‌کنیم. بخشی از سنگها که برروی سطح گسلها قرار می‌گیرند «فرادیواره» و بخش زیرین آن «فرودیواره» نامیده می‌شوند (شکل ۲۰-۳۸). جابه‌جایی در سطح گسلها ممکن است در راستای شیب گسل، درجهت امتداد گسل یا ترکیبی از آن دو باشد. وقتی در صحراها گسلی روبرو می‌شویم به سختی می‌توانیم بگوییم که جابه‌جایی گسل براثر حرکت فرادیواره، فرودیواره، یاهردوی آنها ایجاد شده است.



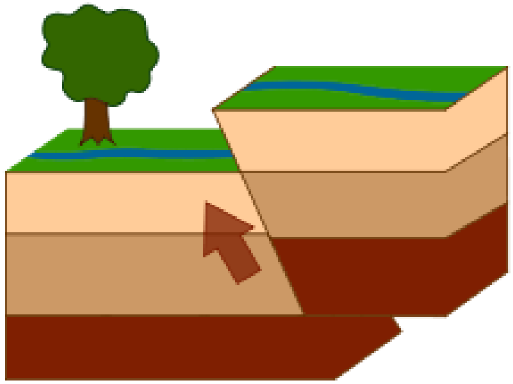
گسل امتداد لغز A



گسل نرمال B



گسل معکوس C



شناسایی گسل ها

شناسایی گسلها در صحرا دشوار میباشد.
گسلهایی که به تازگی فعال بوده اند ممکن است پرتگاههایی را بسازند و یا مسیر رودها جابجا نمایند.
یکی از شواهد برای شناسایی گسل ها وجود «برش گسلی» و یا «میلونیت» میباشد.
برای شناسایی گسل از «آیینه گسل» و همچنین «خش لغزش ها» استفاده میشود.

مواد پودر شده در حین حرکت گسل سطح گسل را صاف و براق می‌کنند، جایی که به آن «آینهٔ گسل» گفته می‌شود. دانه‌های کمی درشت‌تر و مقاوم نیز خطوط و شیارهایی در سطح صاف شدهٔ گسل ایجاد می‌کنند. به این شیارها «خش لغزش» گفته می‌شود. از خش لغزشها می‌توان جهت تعیین سمت حرکت و جابه‌جایی گسل سود جست. به این ترتیب که آخرین حرکت گسل معمولاً به موازات امتداد خش لغزش میباشد.

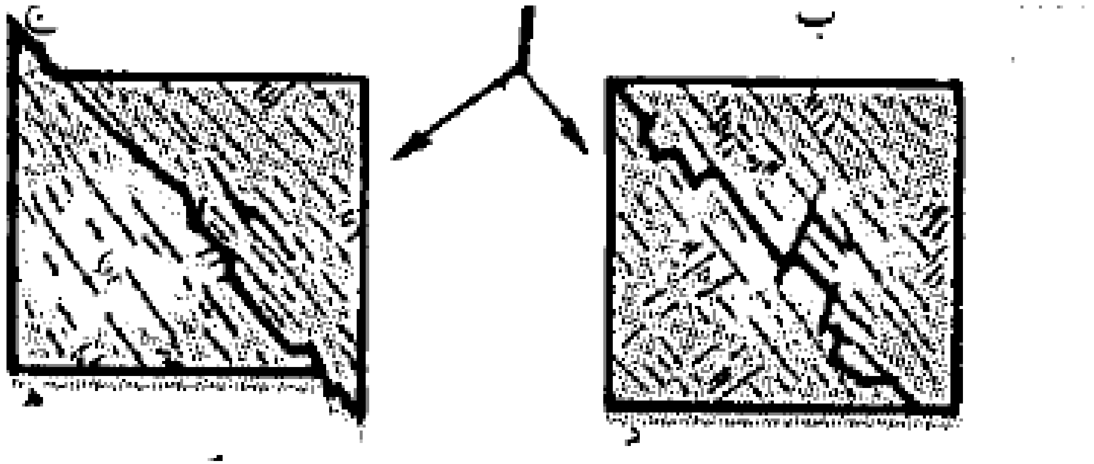
درزها

درزها احتمالاً ساده‌ترین و فراوانترین ساختهای تکتونیکی‌اند. کمتر سنگی در سطح زمین پیدا می‌شود که کاملاً فاقد درز باشد. درزها معمولاً شکستگیهای منظمی‌اند که در امتداد آنها هیچ گونه حرکتی صورت نگرفته و بر خلاف شکافها از هم باز نشده‌اند. درزها اغلب به صورت گروههای موازی (دسته درز) ایجاد می‌شوند.

درزها توده‌های سنگی را به قسمتهای کوچکتر تقسیم می کنند. وجود درز هوازدگی و فرسایش را تسریع می کند. درزها را می‌توان به سه گروه اصلی: برشی، کششی و صفحه‌ای تقسیم کرد. تفاوت اساسی درزها با گسلها،نبودن حرکت یا جابه‌جایی در سطح درزهاست.

درزهای برشی

این درزها وابسته به سطح برش هستند و معمولا همراه گسلها یافت میشوند.تنشهای ایجاد کننده گسلها، درزهای برشی را نیز می سازند.

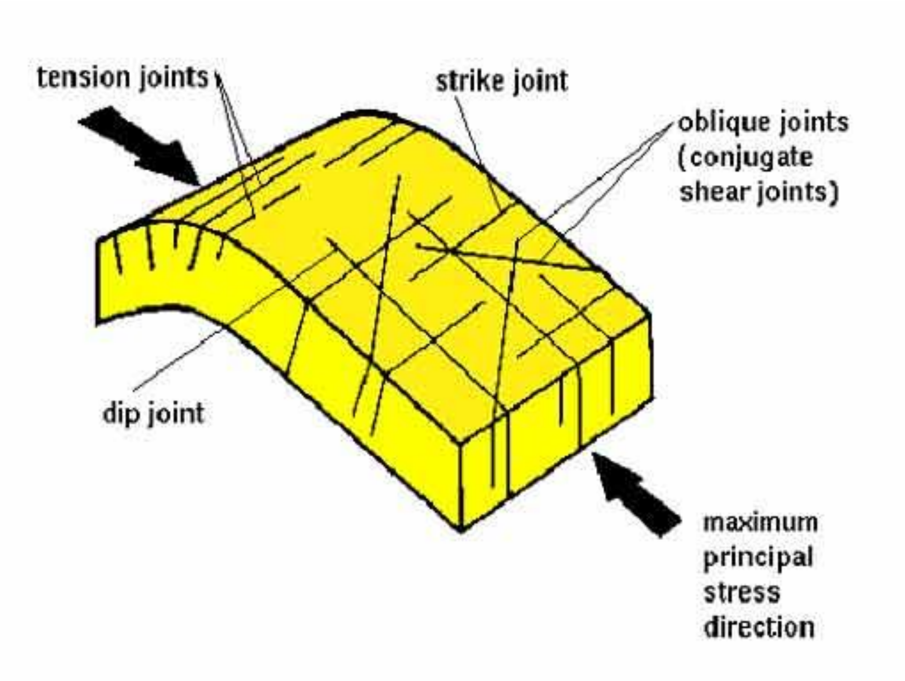


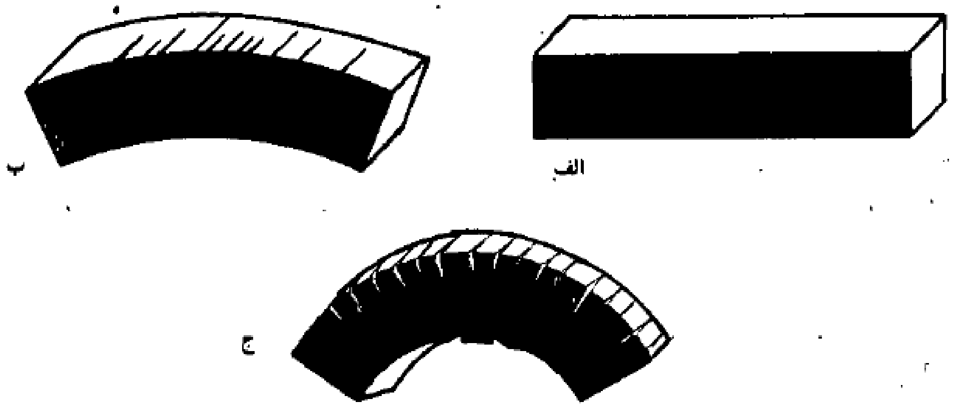
درزهای صفحه ای

این درزها اغلب در سنگهای یکنواخت آذرین یافت میشوند وبر اثر انقباض حاصل از سرد شدن توده آذرین ایجاد میشوند و به موازات سطح خارجی سنگ میباشند.

درزهای کششی

این درزها معمولا در نقاطی که تحت اثر کشش قرار میگیرند، ایجاد میشوند.این درزها عمود بر امتداد کشش میباشند.





شکل ۲۰ـ۱۵ ایجاد درزهای کششی در بالا و شکستگیهای برشی (درز و گسل) در زیر یک لایهٔ چین خورده

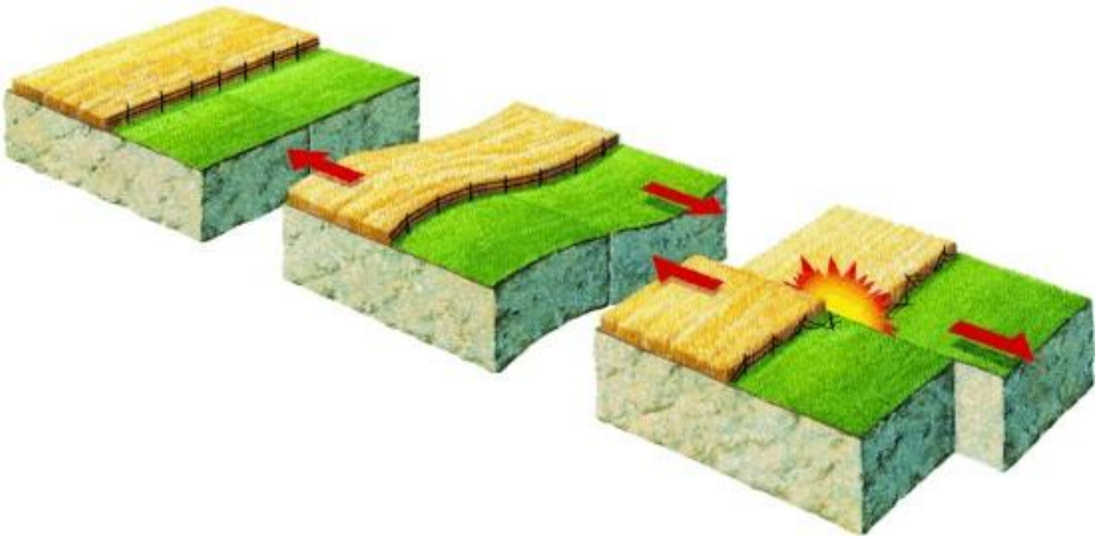
زمین لرزه

لرزش سطحی زمین، زلزله یا «زمین‌لرزه» نامیده می‌شود. زمین‌لرزه‌ها ممکن است بسیار خفیف تا شدید و مخرب باشند. در زمان وقوع زمین‌لرزه انرژی انباشته شده در سنگها به طور ناگهانی رها می‌شود و به صورت امواجی به اطراف حرکت می‌کند. این امواج در رسیدن به سطح زمین باعث لرزش و تخریب بناها، ایجاد گسلها، لغزشها، ریزشها و بسیاری پدیده‌های دیگر می‌شود. کشور ما ایران یکی از مناطق لرزه‌خیز جهان است و هر چند مدت یک‌بار زمین‌لرزه‌های مخربی در آن به وقوع می‌پیوندد.

بررسی ویژگیهای امواج زمین‌لرزه در محدودهٔ دانش «لرزه‌شناسی» قرار دارد.

منشا زمین لرزه

طبق نظریه بازگشت کشسان، ابتدا در لایه های سنگی بر اثر انباشته شدن تنش بتدریج تغییر شکل ایجاد میشود.با افزایش تنش زمانی فرا میرسد که سنگ میشکند و انرژی ذخیره شده در آن بصورت امواج زلزله به اطراف پراکنده میشود.

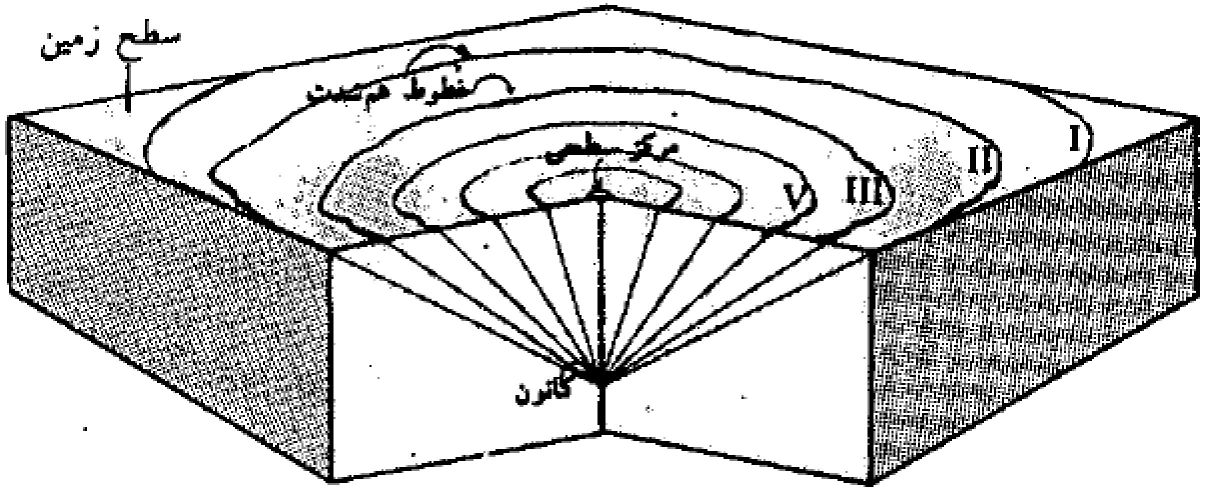


زمین‌لرزه منحصراً براثر شکستن سنگ ایجاد نمی‌شود. دراغلب موارد بر اثر انباشته شدن زیاده‌از حد انرژی در سنگ حرکاتی در امتداد شکستگیها و گسلهای قبلی موجود در سنگ صورت می‌گیرد وضمن رهاشدن انرژی ذخیره شده،زمین‌لرزه‌هایی به وجود می‌آید. از این روست که در زمان بررسی لرزه‌خیزی یک منطقه علاوه بر مطالعهٔ تاریخچهٔ زمین‌لرزه‌های آن،گسلهای فعال و لرزه‌خیز موجود در منطقه رانیزمورد مطالعه قرار می‌دهیم. «گسل فعال» یا «گسل لرزه‌زا» به گسلی اطلاق می‌شود که در دوران معاصر فعالیت لرزه‌خیزی از خود نشان داده باشد.

در یک زمین‌لرزهٔ منفرد تمام طول گسل جابه‌جا نمی‌شود، بلکه بخشهایی ازآن گسیخته شده و بخشهایی دیگر مقاومت می‌کنند. این بخشهای ظاهراً قفل شده وبدون جابه‌جایی نیز ممکن است در زمان دیگری گسیخته شوند وزمین لرزه‌ای را به وجود آورند.

عامل ایجاد تغییر شکل در سنگها و ایجاد گسیختگی و زمین‌لرزه در آنها معمولاً نیروهای افقی جهتدار (نیروهای تکتونیکی) است. این نیروها هم‌چنان‌که به تفصیل در جای دیگرخواهیم دید بر اثر حرکت وجابه‌جایی ورقه‌های سنگ کره ایجاد می‌شوند. درصد کمی از زمین‌لرزه‌های عالم بر اثر رها شدن انرژی در زمان آتشفشانی ایجاد می‌شوند. ریزش سقف غارها و معادن، زمین‌لغزه‌ها، ایجاد بهمن و برخورد شهابسنگها به زمین نیز درصد ناچیزی از زمین لرزه های معمولا کوچک را تشکیل میدهند.بر اثر فعالیت بشر هم ممکن است زمین لرزه ایجاد شود.

نقطه خاستگاه زمین لرزه ”کانون“ نام دارد.اگر خطی قائم از کانون زمین لرزه به طرف سطح زمین رسم شود، محل برخورد آن به سطح زمین ”مرکز سطحی“ یا ”مرکز زمین لرزه“ نام دارد.



شکل ۲۱ـ۲ نمایش کانون، مرکز و خطوط هم‌شدت (اعداد رومی شدت زلزله را در نقاط مختلف نشان می‌دهند).

انواع امواج زلزله

امواج طولی (امواج اولیه) (P): باعث کشش و انقباض متوالی در امتداد حرکت موج میشوند.این امواج از هر محیطی (جامد،مایع،گاز) میتوانند عبور میکنند.(جهت ارتعاش همراستا با جهت انتشار موج)

امواج عرضی (امواج ثانویه) (S): حرکت این امواج سبب میشود که زمین در جهت عمود بر راستای انتشار موج حرکت کند.این امواج فقط از محیطهای جامد میتوانند عبور میکنند. زیرا محیطهای جامد در برابر تغییر شکل برشی مقاوم هستند.(جهت ارتعاش عمود بر جهت انتشار موج)

امواج سطحی: امواج سطحی به دو صورت منتقل میشوند:

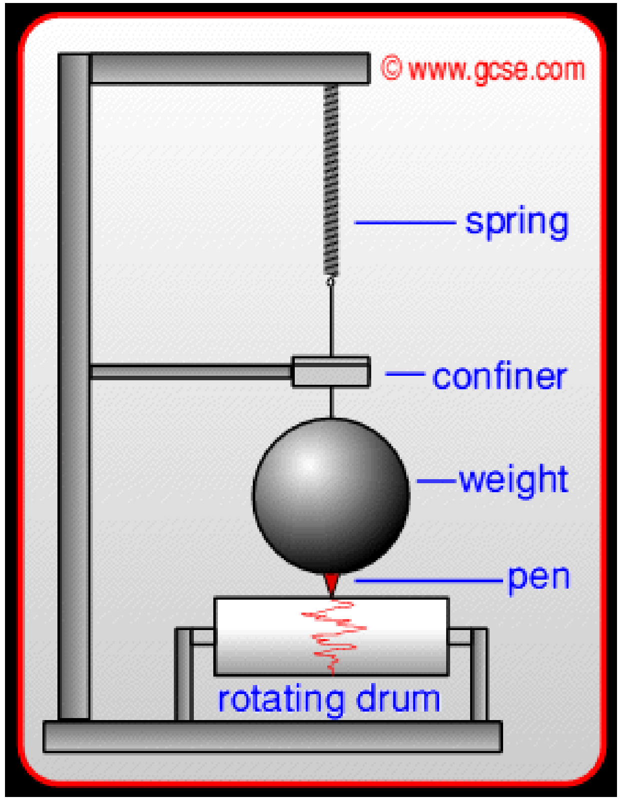
امواج لاو (Q): ذرات ماده به موازات سطح زمین و در جهتی عمود بر انتشار موج حرکت میکنند.این امواج جابجایی و ارتعاش قائم ندارند.(جهت ارتعاش به موازات سطح افق و عمود بر جهت انتشار)

امواج ریلی (R): حرکت ذرات در امتداد خط مستقیم نبوده و همانند حرکت امواج در سطح آب در یک مدار دایره ای صورت میگیرد.

در نزدیکی مرکز زلزله قسمت قابل توجهی از خرابیهای ناشی از زلزله توسط امواج سطحی صورت میگیرد.
سرعت حرکت امواج لرزه ای به چگالی و سختی سنگهایی که از آن میگذرند بستگی دارد.

ثبت امواج زمین لرزه

سالیانه بیش از ۱۵۰۰۰۰ زلزله در نقاط مختلف دنیا اتفاق می‌افتد. البته بسیاری از این زمین‌لرزه‌ها خفیف و تنها توسط وسایل حساس قابل اندازه گیری‌اند. ثبت امواج زمین‌لرزه توسط «لرزه‌نگار» صورت می گیرد. هر مرکز ثبت امواج زلزله (ایستگاه زلزله‌شناسی) حداقل سه لرزه‌نگار دارد که یکی ارتعاشات قائم و دو دستگاه دیگر ارتعاشات افقی (شمالی- جنوبی و شرقی- غربی) را اندازه می گیرند.



شدت و بزرگی زمین لرزه

برای نمایش و بیان اندازه و قدرت تخریب یک زمین‌لرزه تا کنون مقیاسهای مختلفی پیشنهاد شده است. که امروزه دو مفهوم شدت که زمین‌لرزه را به طور کیفی توصیف می‌کند و بزرگی که مقیاسی کمّی از زمین‌لرزه را به دست می‌دهد مقبولیت عام یافته‌اند.

۱- شدت

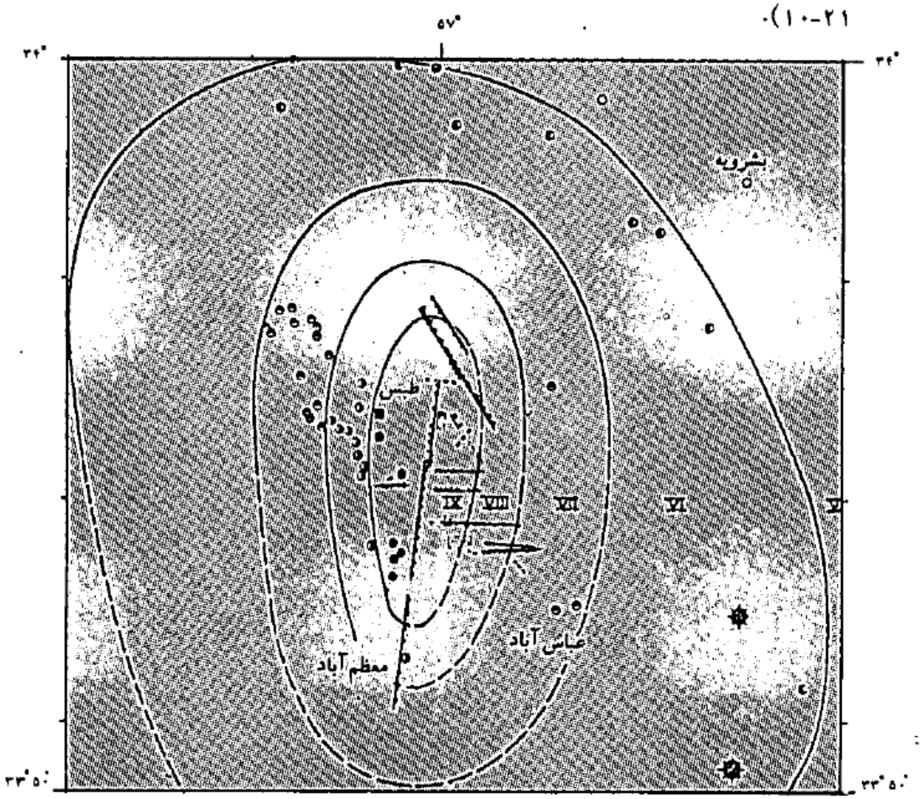
«شدت» یک زمین‌لرزه از روی آثار خرابیها و تأثیراتی که زمین‌لرزه بر انسان و تأسیسات می‌گذارد مشخص می‌شود. شدت ارتعاشات حاصل از زمین‌لرزه با یک مقیاس دوازده‌گانه به نام «مرکالی»، که بر مبنای مقدار خسارات سطحی توصیف می‌شود،مشخص می‌گردد . مقیاس از یک (I) که نمایشگر ارتعاشاتی بسیار ضعیف و غیر محسوس است شروع می‌شود و به دوازده (XII) که شدت خرابی آن فاجعه‌آمیز است ختم می‌گردد. این مقیاس دوازده‌گانه که کاملاً حالتی کیفی و توصیفی دارد

جدول ۲۱-۲ درجات شدت زمین‌لرزه بر اساس مقیاس اصلاح شدهٔ مرکالی

درجه	تأثیر بر انسان	تأثیر بر ساختمانها	اثرهای دیگر	بزرگی زلزله کم عمق معادل آن
I	به وسیلهٔ مردم احساس نمی‌شود، مگر در شرایط کاملاً مناسب.			
II	به وسیلهٔ عدهٔ کمی که در حال استراحت‌اند احساس می‌شود.		وسایل ظریف آویزان به نوسان در می‌آیند.	۲/۵
III	در داخل ساختمانها به طور قابل توجه احساس می‌شود. اتومبیلهای ایستاده ممکن است به لرزش درآیند.		مدت لرزش را می‌توان تخمین زد.	
IV	در داخل ساختمان عموماً احساس می‌شود، مردم از خواب بیدار می‌شوند.		اتومبیلها به لرزش درمی‌آیند و در و پنجره‌ها به صدا در می‌آیند.	۳/۵
V	عموماً احساس می‌شود.	قسمتی از گچ دیوار می‌ریزد.	پنجره‌ها و ظروف می‌شکنند، ساعتهای آونگی از حرکت باز می‌مانند.	
VI	تمام مردم آن را حس می‌کنند و بسیاری می‌ترسند.	دودکشها و گچ دیوار تخریب می‌شود.	مبلها به حرکت در می‌آیند، اشیاء واژگون می‌شوند.	
VII	همه از ساختمانها بیرون می‌ریزند. در اتومبیلهای در حال حرکت نیز احساس می‌شود.	خسارت متوسط به ساختمانها		۵/۵
VIII	هراس عمومی	ساختمانهای سست خسارت کلی می‌بینند. به ساختمانهای محکم خسارت وارد می‌شود.	دیوارهای قدیمی فرو می‌ریزند. مبلها واژگون می‌شوند. ماسه و گل از زمین بیرون می‌ریزد. سطح آب چاهها تغییر می‌کند.	۶
IX	وحشت عمومی	ساختمانهای سست به کلی خراب می‌شوند. ساختمانهای محکم خسارت قابل توجه می‌بینند.	پی ساختمانها خسارت می‌بینند. لوله‌های زیرزمینی می‌شکنند. زمین شکاف برمی‌دارد.	
X		ساختمانهای معمولی عموماً خراب می‌شوند فقط بهترین ساختمانها باقی می‌مانند. پی ساختمانها نیز خراب می‌شود.	زمین ترکهای زیادی برمی‌دارد، خطوط آهن خمیده می‌شود، آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها به ساحل می‌ریزد.	
XI		تعداد کمی از ساختمانها به جای می‌مانند.	شکافهای وسیع و پرتگاه گسلی ایجاد می‌شود. خطوط لولهٔ زیرزمینی به کلی تخریب می‌گردد.	۸/۰
XII		تخریب عمومی	شتاب حرکت از شتاب گرانی تجاوز می‌کند. امواج در سطح زمین قابل مشاهده‌اند. اشیاء به هوا پرتاب می‌شوند.	۸/۵

شدت زمین لرزه با افزایش فاصله از مرکز آن، کاهش می یابد.
هر چه عمق کانون زمین لرزه کمتر باشد، قدرت تخریب آن بیشتر میشود.
خطر زمین لرزه معمولا در زمینهایی که از رسوبات منفصل درست شده اند، بیشتر از نقاطی است روی پی سنگ قرار گرفته اند.

خطی که تمام نقاط دارای یک شدت یکسان را به هم وصل میکند به نام ”خط هم شدت“ یا ”خط هملرز“ نامیده میشود.



شکل ۲۱ – ۱۰ نقشهٔ خطوط هم‌شدت در زمین لرزهٔ سال ۱۳۵۷ طبس

۲- بزرگی

بزرگی یک زمین‌لرزه مقیاسی از میزان انرژی رها شده را به دست می‌دهد. هرچه تنش ذخیره شده در سنگ قبل از ایجاد گسیختگی بیشتر باشد، مقدار انرژی آزاد شده و به همراه آن بزرگی زلزله افزایش خواهد یافت. «بزرگی» زمین‌لرزه رابطهٔ مستقیم با مقاومت سنگها نیز دارد. هرچه سنگ مقاومتر باشد تنش زیادتری لازم است تا آن را بشکند و در نتیجه پس از شکستن انرژی بیشتری آزاد می‌کند.

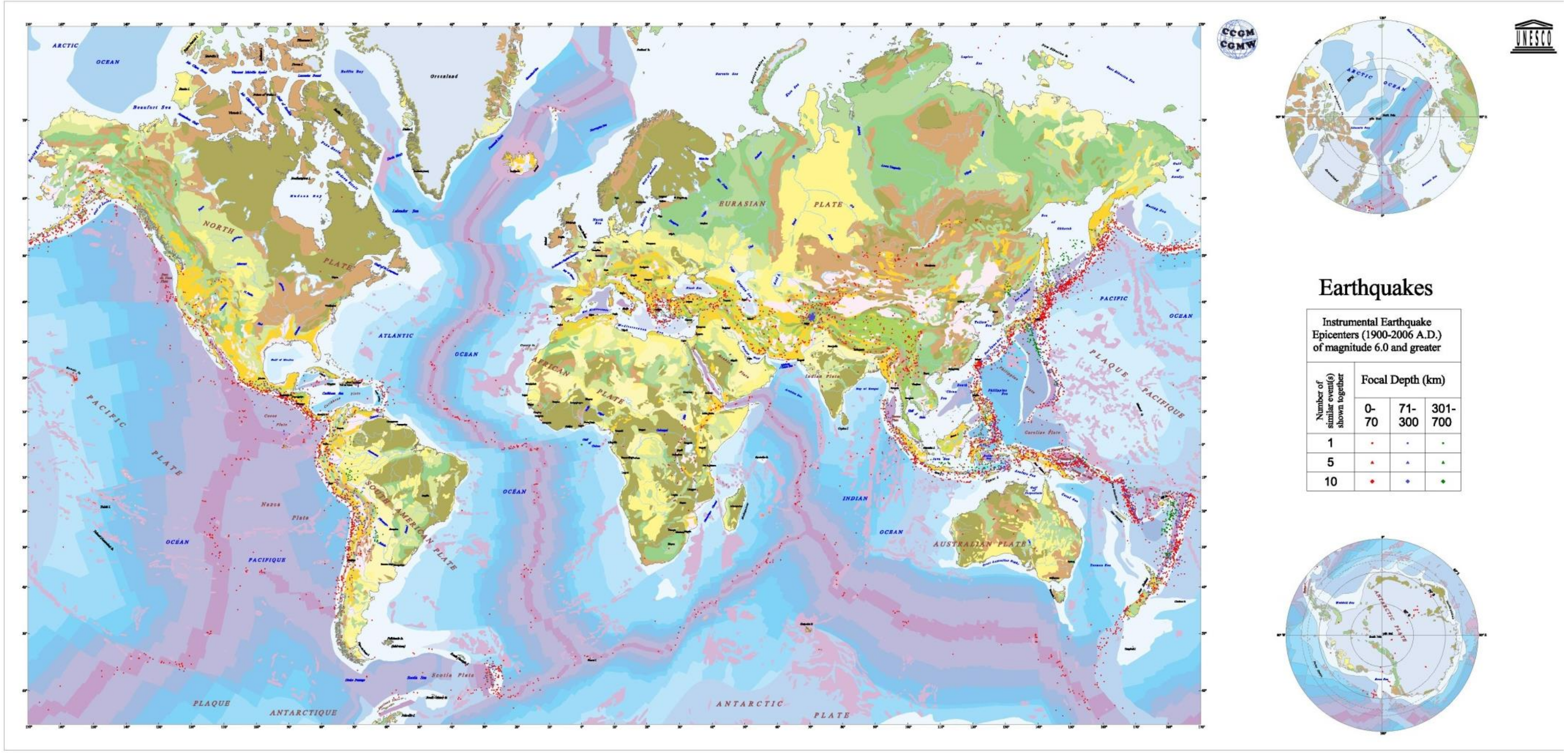
بزرگی زمین لرزه را از روی دامنه امواج ثبت شده در لرزه نگاشت تعیین میکنند. طبق تعریف ، لگاریتم اندازه دامنه زمین لرزه بر حسب هزارم میلی متر را در لرزه نگار استانداردی که در ۱۰۰ کیلومتری مرکز زمین لرزه قرار گرفته باشد، بزرگی زمین لرزه می نامند.مقیاس بزرگی زمین لرزه ریشتر میباشد. وجود اندازه لگاریتمی باعث میشود که اگر دامنه امواج ۱۰ برابر تغییر کند، بر مقیاس بزرگی یک واحد افزوده شود.با افزایش یک واحد در بزرگی ، میزان انرژی رها شده توسط زمین لرزه حدود ۳۱ برابر بیشتر میشود.

پراکندگی زمین لرزه های دنیا

خاستگاه اغلب زمین‌لرزه‌ها نواحی نزدیک به سطح زمین است. در این نقاط سنگها عمدتاً رفتار ترد و شکننده از خود نشان می‌دهند. البته در مواردی زمین‌لرزه‌هایی تا عمق ۷۰۰ کیلومتر نیز ثبت شده است. زمین‌لرزه‌ها را از نظر عمق می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

- زمین‌لرزه‌های کم عمق، کمتر از ۷۰ کیلومتر
- زمین‌لرزه‌های با عمق متوسط، بین ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر
- زمین‌لرزه‌های عمیق، بیش از ۳۰۰ کیلومتر

اغلب زلزله های دنیا در نواحی مشخصی که به "مناطق لرزه خیز" یا "کمربندهای لرزه ای" معروف هستند، روی میدهد.مهمترین این کمربندها عبارتند از حاشیه های اقیانوس آرام و نواحی بخصوصی که بر کوهزاییهای جوان دنیا (مانندآلپ، هیمالیا، البرز، زاگرس) منطبق اند.



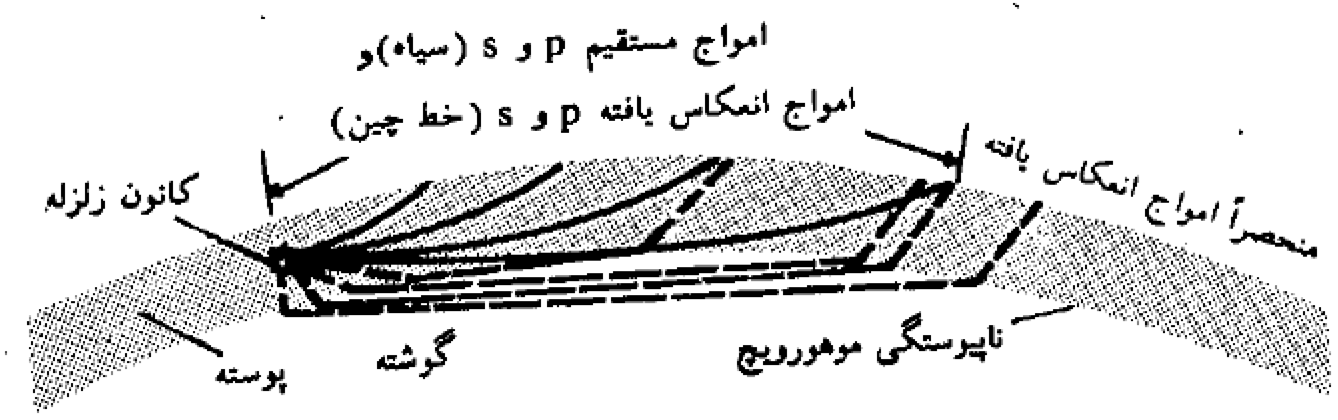
Structural and Kinematic Map of the World, 1:50 M scale, 2006, A. Haghipour, CGMW/UNESCO

جدول ۲۱-۵ برخی از نشانه‌ها و روشهایی که در کشورهای مختلف جهت پیش‌بینی زمین‌لرزه به کار گرفته می‌شود.

نشانه	روش بررسی
آب زیرزمینی	ظاهراً درست قبل از وقوع یک زمین‌لرزه جریان چشمه‌ها و چاهها تغییر می‌کند.
گاز رادون	به نظر می‌رسد که قبل از زمین‌لرزه میـــزان گاز رادون منتشـــر شـده از خـــاک و آبهای زیرزمینی افزایش می‌یابد. در دو مورد که دانشمندان چین و شوروی زمین‌لرزه‌هایی را پیش‌بینی کردند انتشار گاز رادون قبل از زمین‌لرزه دو برابر شده بود.
سرعت امواج P	بررسیها نشان داده است که سرعت امواج P در فاصله زمانی کوتاه قبل از لرزش اصلی کاهش می‌یابد.
رسانایی الکتریکی	در مواردی تغییرات قابل اندازه‌گیری در رسانایی الکتریکی سنگها در قبل از زمین‌لرزه گزارش شده است.
امواج رادیویی	در چند مورد که آنتنهای خاصی به این منظور طراحی و نصب شده بود، امواج رادیویی غیر معمول و غیر قابل توضیحی را دریافت کرده‌اند.
تعداد زمین‌لرزه‌ها	تعداد رخداد زمین‌لرزه‌های کوچک به تدریج زیاد شده و درست قبل از وقوع زلزله اصلی تعداد آنها کم می‌شود.
گرانی و مغناطیس زمین	برخی از مؤلفین گزارشهایی در مورد تغییرات قابل اندازه‌گیری در میدانهای گرانی و مغناطیس زمین انتشار داده‌اند.
افزایش تنش	هر چه به زمان وقوع گسیختگی و ایجاد زمین‌لرزه نزدیکتر می‌شویم، میزان تنش انباشته شده در سنگهای سطحی، مخصوصاً بخشهای نزدیک به گسل فعال، بیشتر می‌شود. این تغییرات را می‌توان توسط دستگاههایی به نام تنش‌سنج اندازه‌گیری کرد.
تنجش	جابه‌جایی‌های اولیه در امتداد گسلها و تغییرات و بالا آمدن سطح زمین از نشانه‌های دیگری است که در مورد وقوع زمین‌لرزه هشدار می‌دهد. دستگاههای انحراف‌سنج قادرند این گونه تغییر شکلها را به طور مداوم اندازه‌گیری کنند. با دانستن سرعت تنجش و مقاومت نهایی سنگ می‌توان زمان گسیختگی را حدس زد.
واکنش حیوانات	در قبل از وقوع زمین‌لرزه برخی از حیوانات، از جمله سگها و اسبها، حالتی ملتهب و ناآرام از خود نشان می‌دهند.
بررسیهای آماری	گردآوری اطلاعات در مورد زمین‌لرزه‌های قدیمی و زمین‌لرزه‌های ثبت شده یک ناحیه، یا متعلق به یک گسل فعال، و بررسی آماری آنها، فراوانی رخداد زمین‌لرزه دارای بزرگی خاص را به دست می‌دهد.

ناپیوستگی موهو: مرز بین پوسته و گوشته میباشد.

ناپیوستگی گوتنبرگ: مرز بین گوشته و هسته میباشد.

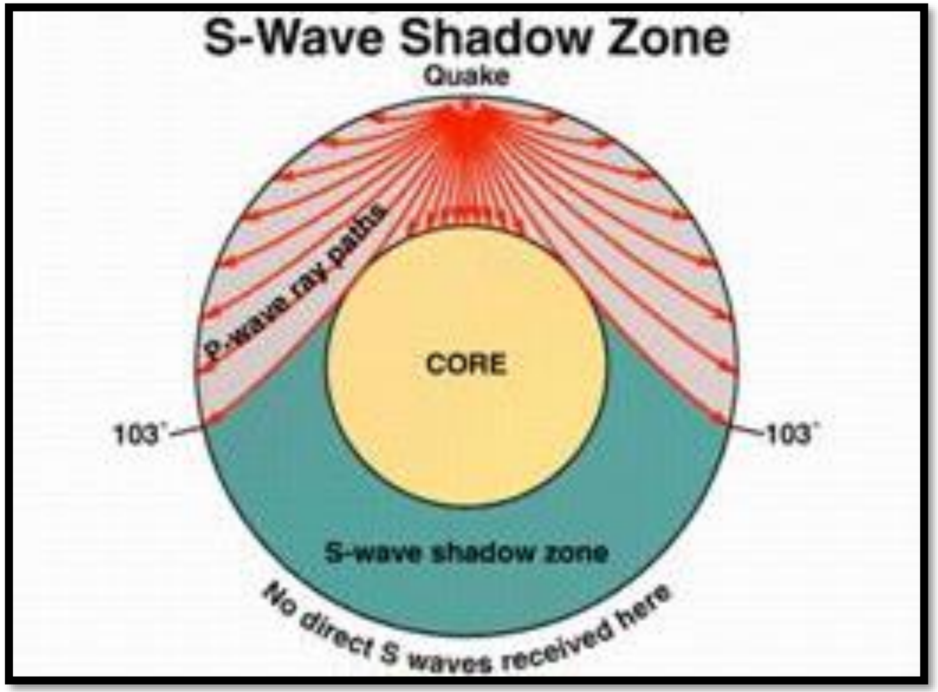


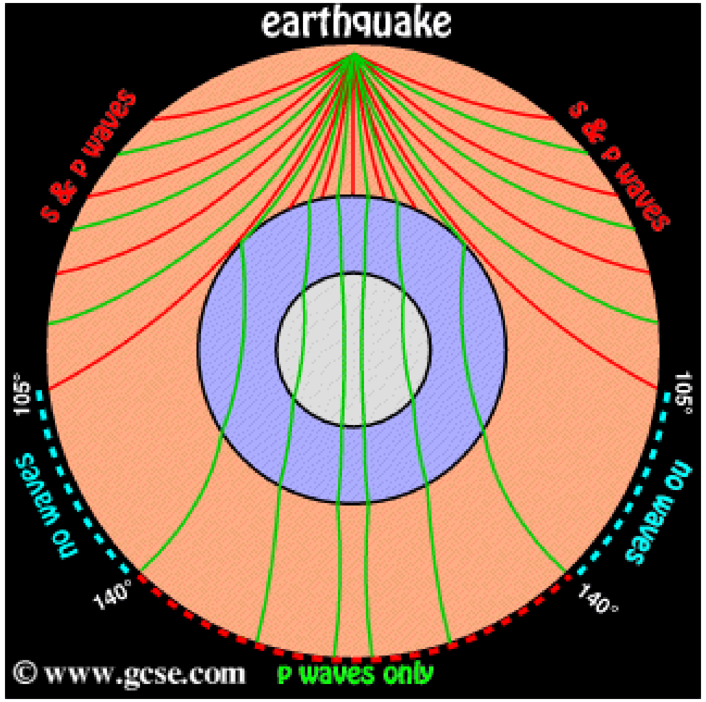
شکل ۲۱-۱۷ مرز بین پوسته و گوشته و توضیح ناپیوستگی موهوروویچ

از صفر تا ۱۰۳ درجه امواج P و S مسیر منحنی شکلی را طی میکنند که معرف شکستها (انکسارها) مداوم از سنگهای دارای چگالیهای متفاوت است.

در عمق حدود ۲۹۰۰ کیلومتری مرز بین بخش فوقانی با چگالی کمتر (گوشته) و بخش چگالتر زیرین (هسته)، امواج P به دلیل اختلاف چگالی بشدت شکسته میشوند.به این ترتیب هیچ موج P که از هسته گذشته باشد در فاصله بین ۱۰۳ تا ۱۴۳ درجه از مرکز زلزله دیده نمیشود و عامل ایجاد این حالت شکست امواج در مرز گوشته و هسته میباشد.(تشکیل منطقه سایه امواج P)

امواج S نیز در حد فاصل ۱۰۳ درجه دریافت نمیشوند.چون امواج S نمیتوانند از مایعات بگذرند، لذا از هسته خارجی نمیگذرند.(تشکیل منطقه سایه امواج S)





منطقه سایه موج S: امواج S نمیتوانند به هسته خارجی نفوذ کنند.
منطقه سایه موج P: شکست موج از انتشار مستقیم امواج P جلوگیری میکند.

تکتونیک (زمین ساخت ورقه ای)

۱- نظریه آلفرد وگنر(جابجایی قاره ها)

۲- نظریه هس (گسترش کف اقیانوس ها)

۱- نظريه آلفرد وگنر(جابجايی قاره ها)

در اوايل قرن بيستم(سال ۱۹۱۲) نظريه اي به نام جابه جايي قاره ها توسط آلفرد وگنر، هواشناس و زمين فيزيكدان آلماني عنوان شد كه با نظريه هاي قبلي در مورد ثابت بودن وضعيت قاره ها و اقيانوسها، تضاد داشت .

وگنر، به وجود قاره اي عظيم به نام پانگه آ (به معناي همه ي خشكي ها) كه در حدود ۲۰۰ ميليون سال پيش، شروع به قطعه قطعه شدن كرد و سرانجام قاره هاي امروزي را به وجود آورد ادعا كرد.

اين قاره (پانگه آ) چند ميليون سال بعد مبدل به دو قاره بزرگ لورازيا (laurasia) و گندوانا (Gondwana) شد كه اولي شامل آمريكاي شمالي، گرينلند و بيشتر قسمتهاي آسيا و اروپاي امروزي است و دومي آمريكاي جنوبي، آفريقا ، قطب جنوب، هندوستان ، استراليای كنوني را شامل مي شده است.

فاصله دو قاره لورازيا و گندوانا را دريايي به نام تتيس (Tethys) پر مي كرده است كه امروزه درياهاي مديترانه، خزر و سياه را بازمانده هاي آن مي دانند.

TRIASSIC

200 million years ago

شواهد و مدارک در تایید نظریه حرکت قاره ها

۱- انطباق حاشیه قاره ها

۲- انطباق کمربندهای کوهزایی قاره ها

۳- شواهد دیرین شناسی(فسیل ها)

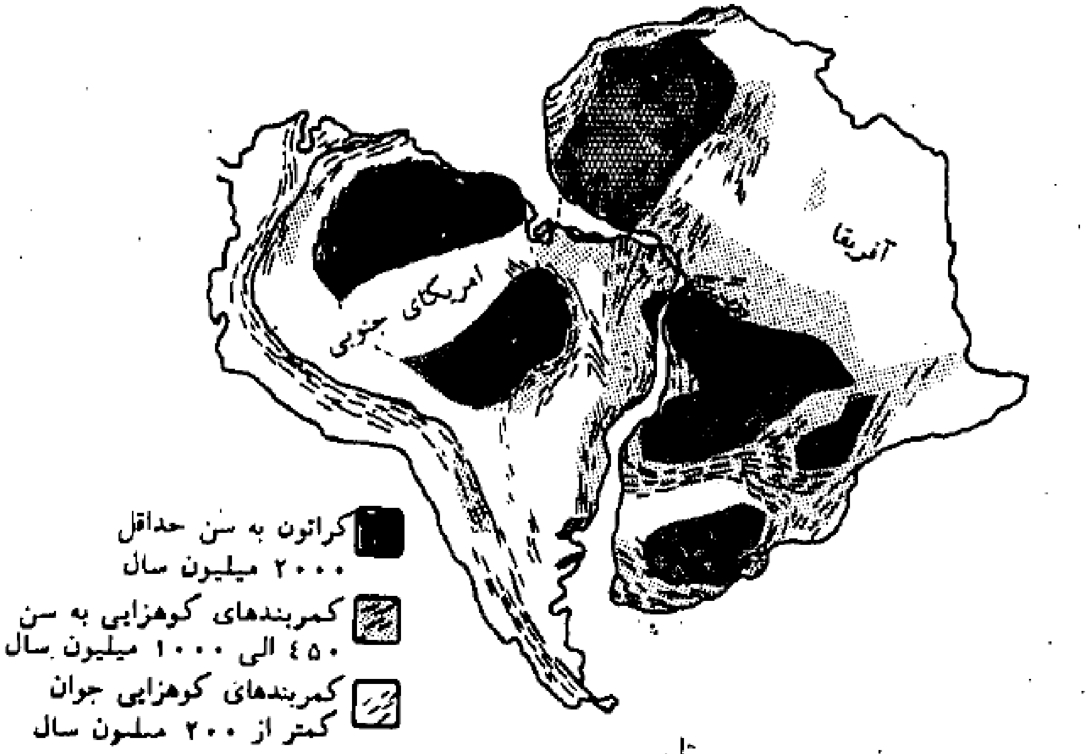
۴- شواهد جغرافیایی و آب و هوای گذشته

۱- انطباق حاشیه قاره ها

بررسی ها نشان میدهند که حاشیه برخی قاره ها جفت شدگی خوبی با هم دارند مانند حاشیه امریکای جنوبی و افریقا.این موضوع نشان میدهد که قاره ها در گذشته به هم متصل بوده و خشکی واحدی را تشکیل میدادند و در طول زمان جابجا شده و به شکل کنونی درآمده اند.

۲- انطباق کمربندهای کوهزایی قاره ها

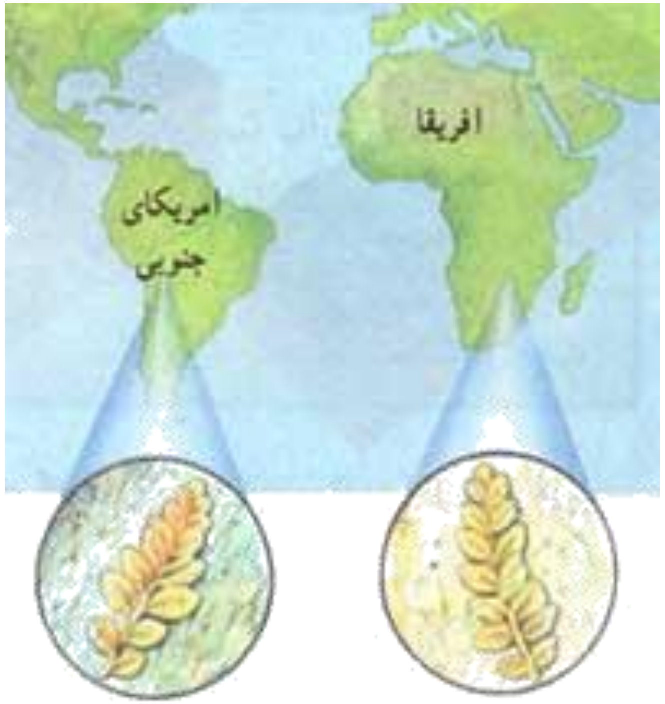
وقتی بعنوان مثال دو قاره امریکای جنوبی و افریقا کنار هم قرار گیرند، کمربندهای کوهزایی هم سن نیز در امتداد هم قرار میگیرند که این یکی از دلایل اتصال قبلی این دو قاره است.



شکل ۲۴ـ۲ کمربندهای کوهزایی قدیمی که به طور ناگهانی در حاشیهٔ قاره‌های امریکای جنوبی و افریقا قطع می‌شوند، در نتیجهٔ جفت کردن دو قاره در امتداد هم قرار می‌گیرند.

۳- شواهد دیرین شناسی (فسیل ها)

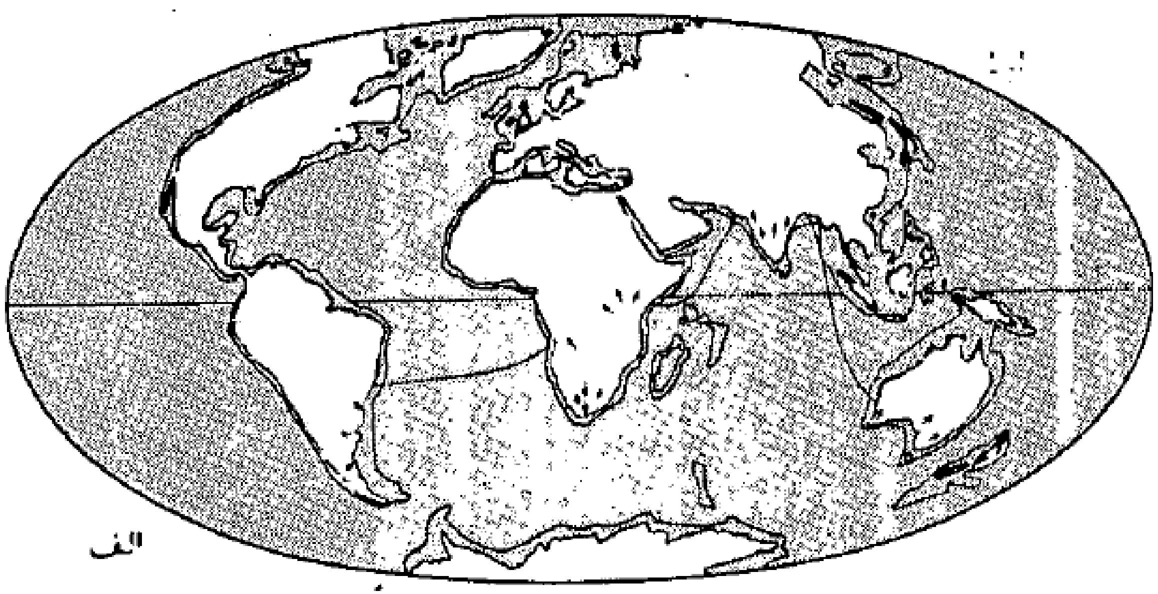
بعضي از سنگواره هايي كه امروزه در روي دو قاره مجاور هم پيدا مي شوند، حاكي از آن است كه در گذشته آن قاره ها يك پارچه بوده اند.



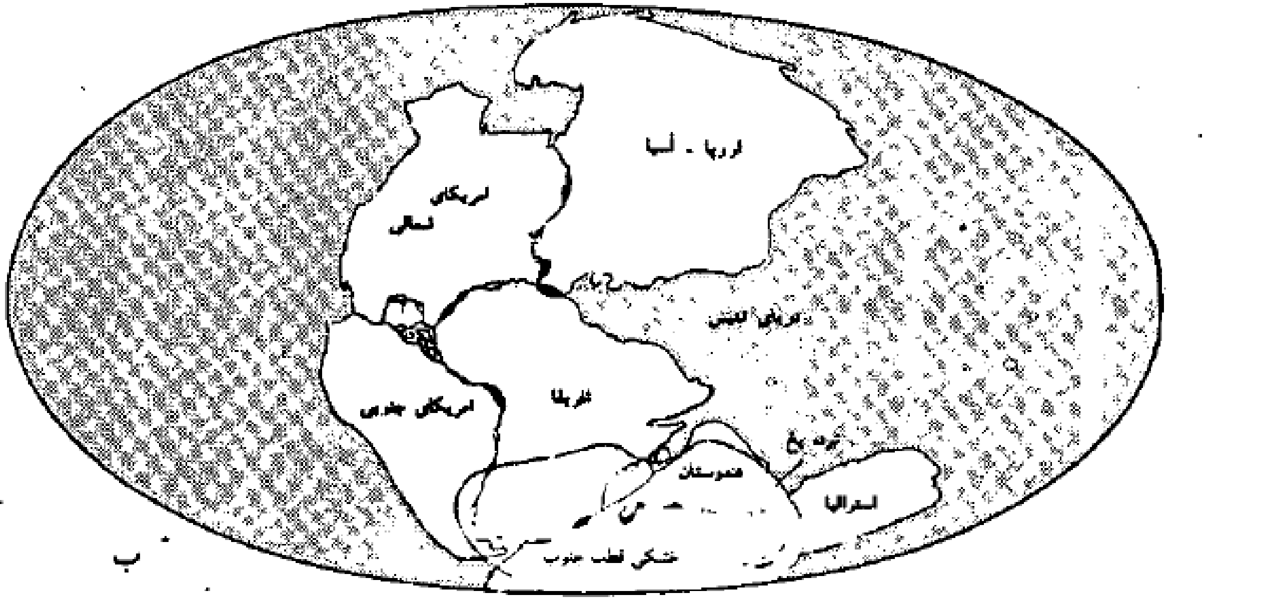
فسیل این نوع گیاه فقط در این نواحی یافت شده است.

۴- شواهد جغرافیایی و آب و هوای گذشته

وقتي ثابت شد كه در قسمتهايي از قاره هاي واقع در نيم كره ي جنوبي كه امروزه در حدود منطقه استوا قرار دارند، آثار يخچالي مشاهده شده است وگنر نتيجه گرفت كه در گذشته، همه ي آن مناطق در محل قطب و در كنار همديگر واقع بوده اند



الف



ب

یخچالهای پالئوزوئیک و جابجایی قاره ای

۲- نظریه هس (گسترش کف اقیانوس ها)

در اوایل دهه ي ۱۹٦۰، هري هس ، زمین شناس آمریکایي، این واقعیتها را کنار هم گذاشت و از مجموعه آن فرضیه گسترش بستر اقیانوسها را ارائه داد.

فرضیه هس این بود که ، بستر اقیانوسها درمحل جریانهاي کنوکسیوني ویژه اي که در گوشته رخ مي دهند پدید مي آید.

با خروج مواد از گوشته، بستر اقیانوس به دو طرف رانده مي شود، پس مواد مذاب جایي براي بیرون آمدن و پخش شدن پیدا مي کنند. در این صورت، پوسته جدیدي در محل شکاف تشکیل مي شود.

هس ، همچنین اعلام داشت که به جبران این افزوده شدن بر پوسته اقیانوسي، در محل گودالهاي عمیق که در حاشیه بعضي از اقیانوسها قرار دارند، پوسته اقیانوسي قدیمي تر دوباره به درون گوشته کشانده و کم هضم مي شود. پس ، پوسته ي اقیانوسي گذشته از جوان بودن، دائماً در حال تجدید شدن است.

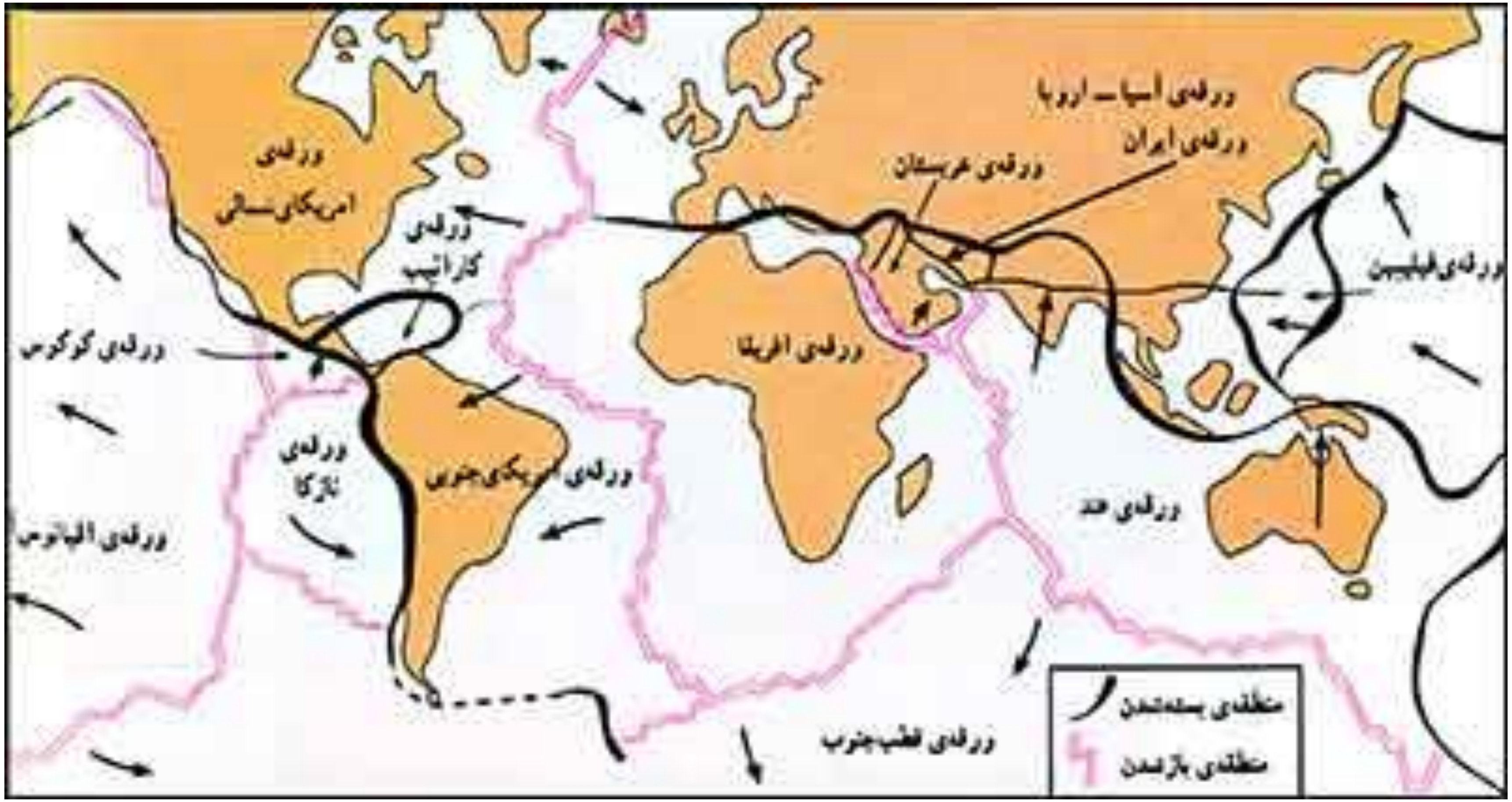
نظریه زمین ساخت ورقه ای (تکتونیک ورقه ای)

در سال ۱۹٦۸، از نظريه هاي جابه جايي قاره ها و گسترش بستر اقيانوس ها، نظريه كامل تري به نام زمين ساخت ورقه اي (تكتونيك ورقه اي) ارائه شد. اين تئوري چنان جامع است كه بيشتر فرايندهاي زمين شناسي را به كمك آن مي توان تعبير كرد.

بر اساس نظريه ي زمين ساخت ورقه اي ، سنگ كره (ليتوسفر) خارجي و جامد شامل ۷ ورقه ي بزرگ و تعدادي ورقه كوچك تر است.

ضخامت ورقه ها در محل اقيانوسها اندك است و بين ۷۰ تا ۱۰۰ كيلومتر تغيير مي كند.

در مقابل ، ورقه ها در زير قاره ها بين ۱۰۰ تا ۱۵۰ كيلومتر و گاهي بيشتر، ضخامت دارند.


ورقەی آسیا ــ اروپا
ورقەی ایران
ورقەی عربستان
ورقەی
کارائیب
ورقەی کوکوس
ورقەی
نازکا
ورقەی افریقا
ورقەی فیلیپین
ورقەی هند
ورقەی قطب جنوب
منطقەی بازشدن

حرکت ورقه ها نسبت به هم ، به سه شکل مختلف زير مي تواند صورت بگيرد:

1

ورقه هاي دور شونده (واگرا)

2

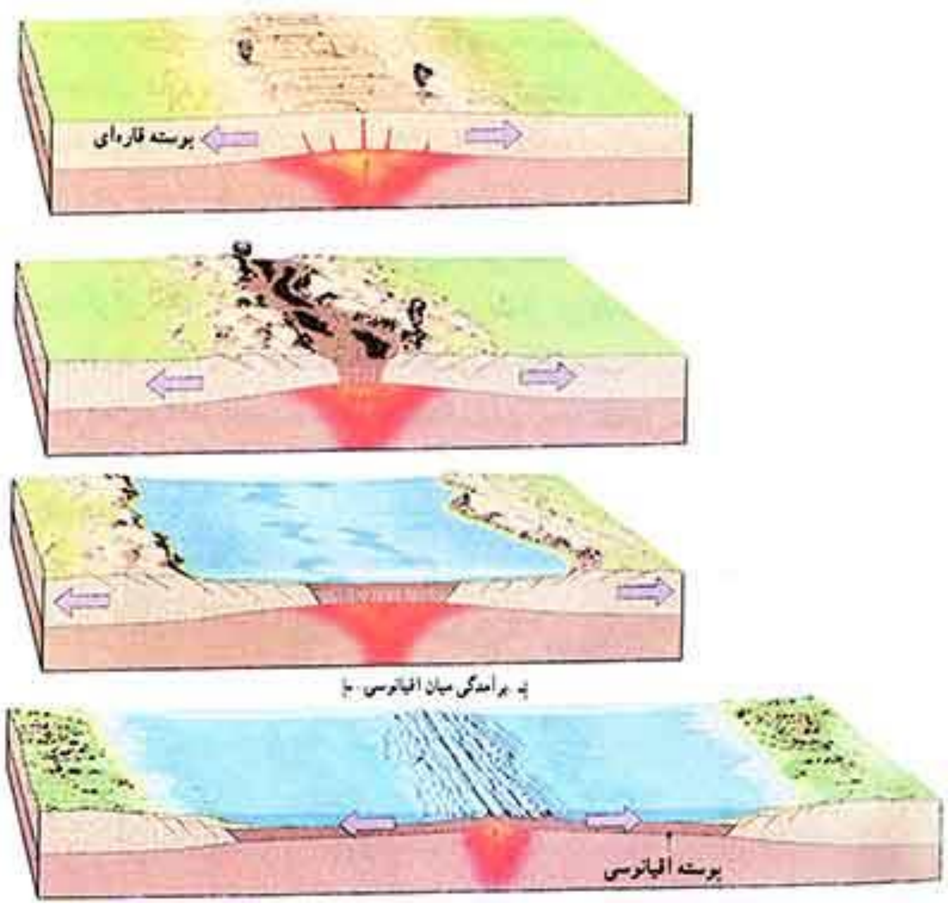
ورقه هاي نزديك شونده (همگرا):

- برخورد ورقه اقيانوسی با ورقه قاره ای
- برخورد دو ورقه اقيانوسی
- برخورد دو ورقه قاره ای

3

ورقه هاي امتداد لغز

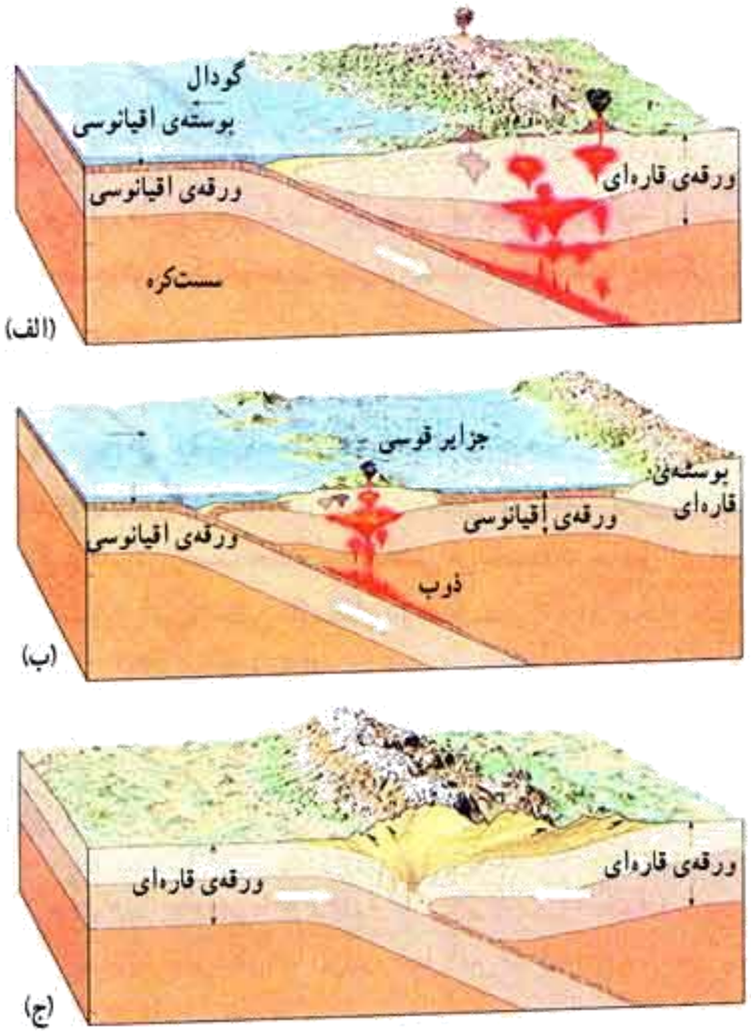
۱- ورقه هاي دور شونده (واگرا)



درچنين محل هايي، ورقه ها از خط مركزي رشته كوهي كه در بستر دريا پديد مي آيد، فاصله مي گيرند اما فاصله ي ايجاد شده را مواد مذابي كه از درون زمين و سست كره ي داغ بالا مي آيند، پر مي كنند. با اين ترتيب، پس از سرد شدن آن مواد، پوسته ي اقيانوسي جديدي (ليتوسفر) در بين دو ورقه ي دور شونده پديد مي آيد.

۲- ورقه هاي نزديك شونده (همگرا)

بسته به اين كه صفحات نزديك شونده از چه نوعي باشند،
پديده ي حاصل به يكي از صورت هاي زير خواهد بود:



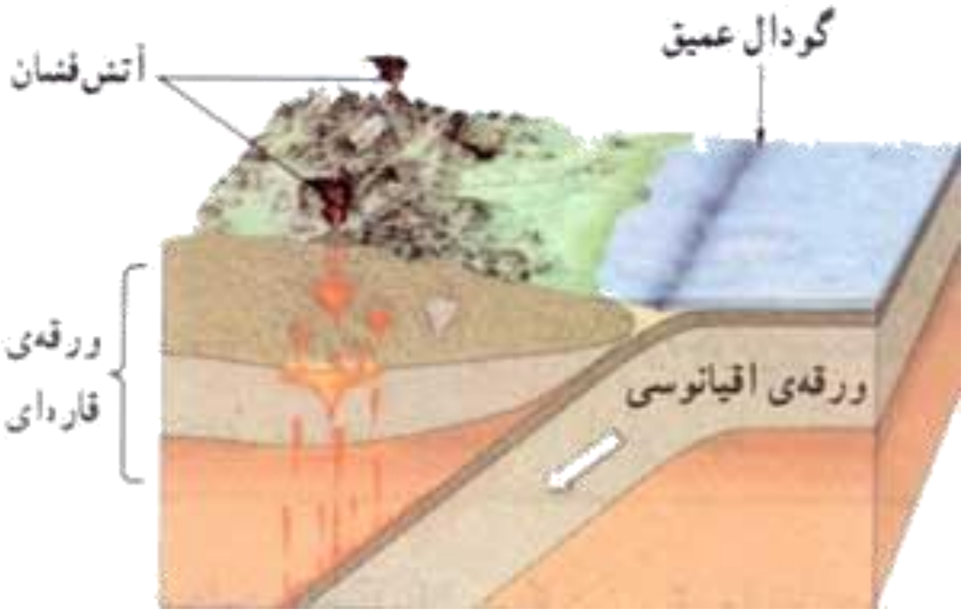
الف- برخورد ورقه اقیانوسی با ورقه قاره ای

ب- برخورد دو ورقه اقیانوسی

ج- برخورد دو ورقه قاره ای

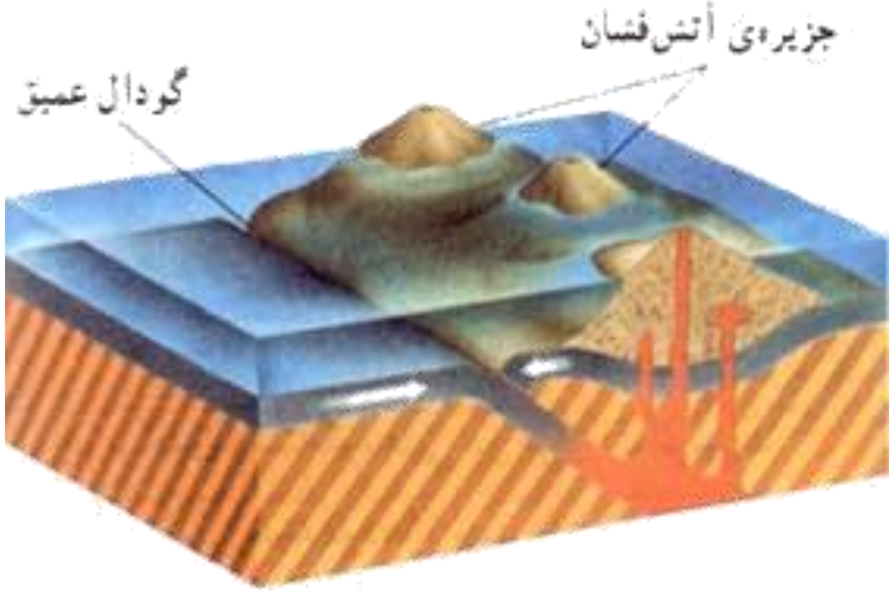
الف- برخورد ورقه اقیانوسی با ورقه قاره ای

در محل برخورد ورقه اقيانوسي با ورقه قاره اي ، ورقه اقيانوسي خم مي شود و به زير ورقه قاره ای مي رود و به تدريج در گوشته هضم مي شود كه اين فرآيند را اصطلاحاً فرو رانش مي گويند. ورقه اقيانوسی، مقداري از رسوبات را نيز همراه خود به پايين مي كشاند. وقتي اين مواد به عمق در حدود يكصد كيلومتر مي رسند، حالت ذوب بخشي مي يابند. چنين ماگماهايي از سنگ هاي اطراف محل خود سبك ترند. بنابراين، وقتي مقدارشان به اندازه اي كافي زياد شد، حركتي آرام را به سمت بالا در پيش مي گيرند و در ميان لايه ها، منجمد و متبلور مي شوند. مقداري از اين ماگما هم ممكن است به سطح زمين برسد و آتش فشانهاي از نوع انفجاري را باعث شود.



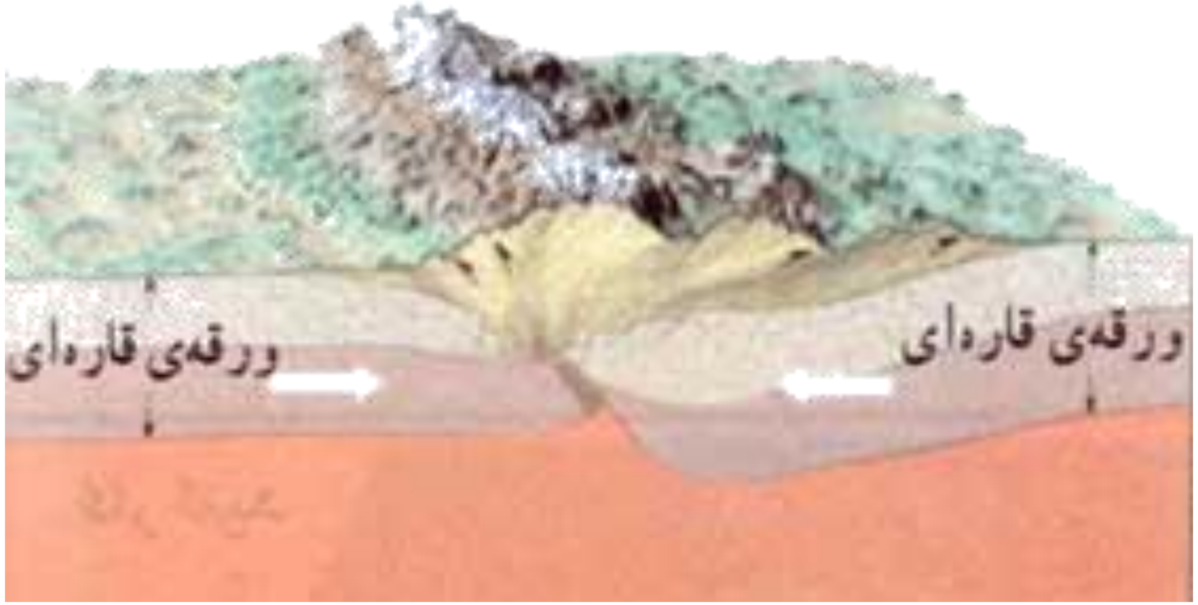
ب- برخورد دو ورقه اقیانوسی

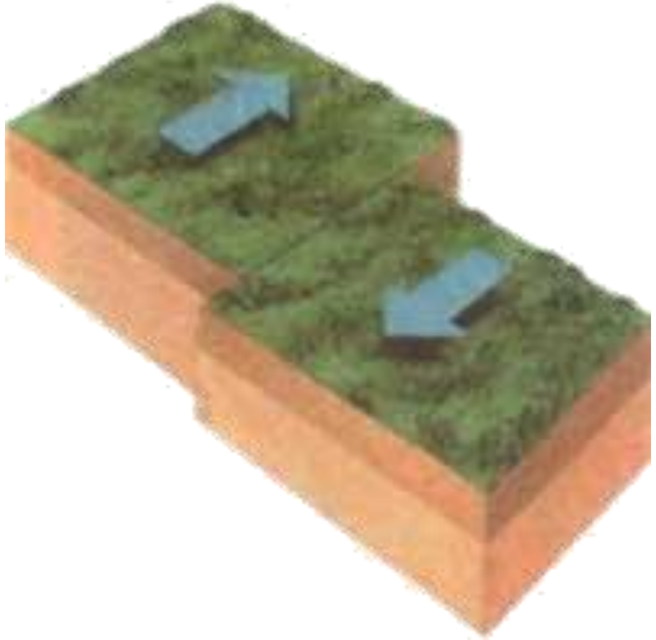
وقتي دو ورقه اقيانوسي به هم برخورد كنند، يكي به زير ديگر فرو مي رود و پديده آتش فشاني مشابه حالت قبل رخ مي دهد. اما اين بار، محل آتش فشانها در بستر دريا است نه در روي خشكي . اگر اين آتش فشاني ها ادامه يابد، ممكن است بعد از مدتي جزاير آتش فشاني در دريا پديد آيند كه به جزاير قوسی معروفند.



ج- برخورد دو ورقه قاره ای

هنگامي كه دو ورقه قاره اي به هم برخورد كنند، هيچ يك ، به داخل گوشته فرو نمي رود زيرا چگالي هر دو با هم برابر است. نتيجه چنين برخوردي ، ايجاد كوه است. رشته كوه هاي بزرگ اورال، آلپ و آپالاش نيز نتيجه چنين برخوردهايي هستند. كوه هاي زاگرس نيز حاصل چنين برخوردهايي هستند. كوه هاي زاگرس حاصل برخورد ورقه عربستان به ورقه ايران می باشد. فشار حاصل از برخورد دو ورقه، رسوبات را چين داده و به صورت كوه درآورده است.



۳- ورقه هاي امتداد لغز

در اين نوع حركت، پوسته جديد ايجاد يا تخريب نمي شود، زيرا دو ورقه ي مجاور، در كنار هم مي لغزند، بنابراين ، عملاً در اين محل ها گسل هاي متعددي وجود دارد و زلزله هاي مكرري رخ مي دهد.